

Strategie per la complessità della logistica territoriale. Caso-studio: modelli di simulazione per la questione del "porto secco"

*Original*

Strategie per la complessità della logistica territoriale. Caso-studio: modelli di simulazione per la questione del "porto secco" / DE MARCO, Alberto; Rafele, Carlo; Cagliano, ANNA CORINNA. - (2007). (Intervento presentato al convegno XXXIV Convegno Nazionale ANIMP, OICE, UAMI tenutosi a Hotel Hermitage, Isola d'Elba nel 26-28 aprile 2007).

*Availability:*

This version is available at: 11583/1630159 since:

*Publisher:*

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

openAccess

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

**STRATEGIE PER LA COMPLESSITÀ DELLA LOGISTICA TERRITORIALE.  
CASO-STUDIO: MODELLI DI SIMULAZIONE PER LA QUESTIONE DEL “PORTO SECCO”.  
STRATEGIES FOR THE COMPLEXITY OF LOGISTICS AND TRANSPORTATION.  
CASE-STUDY: SIMULATION MODELS FOR THE “DRY HARBOUR” PROBLEM.**

*ing. Alberto De Marco*

*prof. ing. Carlo Rafele*

*ing. Anna Corinna Cagliano*

Politecnico di Torino – Dipartimento dei Sistemi di Produzione ed Economia dell'Azienda

**Sommario**

La logistica territoriale è destinata a diventare un fattore-chiave di competitività nelle attività produttive locali e ad assumere una crescente complessità sistemica. Servizi logistici convenienti sono il risultato di investimenti correttamente guidati da scelte industriali e politiche di sviluppo capaci di interpretare la complessità del problema e di intervenire sulle variabili che creano le condizioni di crescita del territorio.

La pianificazione della logistica territoriale ha pertanto bisogno di strumenti di supporto alle decisioni, al fine di definire le aree (sia fisiche sia produttive) dove occorre investire e le modalità di intervento. Il presente lavoro intende proporre un modello di simulazione come strumento decisionale strategico e mostrarne l'utilità per vagliare gli impatti delle possibili politiche di intervento. In particolare, si analizza il caso della logistica in Piemonte con riferimento alla questione del retroporto di Genova.

Le dinamiche evolutive del commercio mondiale fanno prevedere un significativo incremento dei flussi di traffico che attraversano il Mediterraneo. I porti liguri si trovano in concorrenza con altri porti europei nell'intercettare quote significative. Per essere concorrenziale, l'offerta dei porti deve dotarsi di capacità, efficienza di *handling* e competitività/disponibilità produttiva. A causa dei suoi vincoli geografici, il porto di Genova deve ricorrere ad aree retroportuali in Piemonte.

In questo scenario, stanno nascendo numerose proposte industriali di sviluppo logistico che hanno bisogno di un efficace quadro strategico di sviluppo per evitare un'infruttuosa frammentazione e dispersione di risorse economiche. Il modello di simulazione si propone di risolvere tale problema e di fornire un pannello di controllo per l'indirizzo degli investimenti per la logistica in Piemonte e la migliore localizzazione degli interporti. Il modello è basato sui *System Dynamics* che, attraverso l'uso di software specifici, consentono di descrivere il sistema complesso attraverso molteplici relazioni causali, effettuare le simulazioni e visualizzare in forma grafica i loro risultati, validare il modello sulla scorta di dati storici relativi a variabili chiave e simulare numerose scelte territoriali al variare delle condizioni al contorno.

La simulazione consente di determinare la domanda di aree logistiche e il grado di concentrazione ottimale, fornendo linee di indirizzo strategico per gli investimenti e la loro localizzazione geografica.

**Abstract**

The system of logistics and transportations is becoming a key-factor for local business competitiveness and is increasing with complexity. Efficient logistic services result from investments based on industrial decisions and policies, which in turn have to understand problems and drive the main variables to sustainable growth.

Logistic planning needs decision making to define areas of investment: this work aims at proposing a simulation model as a strategic tool for policy making. In particular, the case of logistics and transportations in Piedmont is considered with reference to the “back-port” of Genoa.

Global commerce trends anticipate significant traffic increase over the Mediterranean Sea. Harbours in Liguria are facing competition with others in Europe. To stay competitive, ports must have containership, handling efficiency and production capacity. Due to geographical constraints, Genoa must use logistics centres in Piedmont.

In such a scenario, a number of industrial development plans are arising, which need to be driven into a strategic framework. The model considers this problem as a flight-simulator for positioning and dimensioning of logistics investments in Piedmont. The computer-based System Dynamics model describes a complex system by causal relationships between variables, provides graphical outputs, validates the system behavior based on past data, and enables experiments of different policies by changing side conditions.

The simulation of the model allows the policy maker to determine the demand of areas for logistics and the level of optimal concentration, thus providing a strategic outlook for investments and their locations.

## 1 Le sfide della logistica territoriale

Negli ultimi anni la logistica ha assunto un'importanza crescente come fonte di vantaggio competitivo per le imprese. La deverticalizzazione dell'impresa, la delocalizzazione della produzione in paesi a basso costo del lavoro, la globalizzazione dei mercati e dei prodotti, la contrazione dei tempi di risposta al cliente, la rapida obsolescenza dei prodotti sono solo alcuni dei fattori che giustificano l'attenzione crescente riservata ai temi della logistica.

Queste evoluzioni in ambito produttivo e organizzativo avvengono contestualmente al progressivo allargamento europeo ad est e alla facilitazione della circolazione di beni e persone nel mercato unico. La crescente domanda di trasporto si scontra, in alcuni casi, con la congestione delle infrastrutture e con le esternalità negative generate dal trasporto su gomma, in altri casi, con l'insufficienza e l'inefficienza dei collegamenti. L'Unione Europea sta agendo in favore del rilancio economico dell'Europa nei settori dei trasporti, delle telecomunicazioni e dell'energia, attraverso la realizzazione delle reti TEN (Trans European Network). L'impegno per la progressiva integrazione delle realtà nazionali è affiancato dagli sforzi per la creazione di un sistema dei trasporti.

Le dinamiche evolutive dello sviluppo economico e del commercio mondiale, in particolare degli interscambi via mare con l'Estremo Oriente, fanno prevedere un significativo incremento dei flussi di traffico attraverso il Mediterraneo (figura 1). Quest'ultimo assume una posizione baricentrica nelle rotte "pendulum" (estremo oriente- canale di Suez - costa est americana) effettuate dal crescente numero di mega-navi (vantaggiose per la concentrazione dei volumi di carico) che non possono più passare attraverso il canale di Panama.

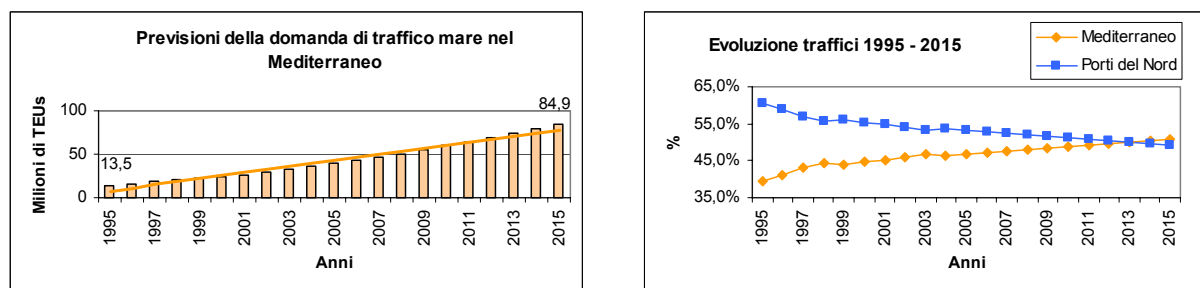


Figura 1 – Previsioni dei traffici navali nel Mediterraneo e confronto con i traffici intercettati dai porti nord-europei<sup>1</sup>.

Nascono importanti opportunità per l'Italia qualora riesca a non essere solo un territorio di attraversamento da parte di flussi in transito, ma anche il luogo in cui tali flussi siano oggetto di operazioni di logistica a valore aggiunto. In questo secondo caso, infatti, le esternalità negative indotte dalla presenza di valori crescenti di traffico merci sarebbero più che compensate dai benefici ottenibili in termini di sviluppo socio-economico del territorio.

### 1.1 Le sfide della logistica territoriale in Piemonte

Il Piemonte ha le potenzialità per cogliere tali opportunità in quanto si tratta di un territorio densamente infrastrutturato, che presenta già un'offerta di piattaforme logistiche competitive, con una forte tradizione produttiva che sta mostrando negli ultimi anni segnali di ripresa.

Soprattutto però il Piemonte presenta un vantaggio geografico: è collocato all'intersezione di due corridoi europei transnazionali (Corridoio V e Corridoio XXIV), a ridosso del grande mercato di produzione e consumo dell'Europa centrale e in prossimità dei porti liguri, che potrebbero potenzialmente intercettare quote crescenti del traffico di container attraverso il Mediterraneo. A causa della presenza dei rilievi montuosi a ridosso della costa, i porti liguri sono vincolati nella propria capacità di espansione verso l'entroterra. L'evoluzione del trasporto via mare prevede una crescente diffusione dell'utilizzo dei container e il progressivo aumento delle dimensioni delle navi. Acquista sempre più importanza l'efficienza delle manovre di *handling* portuale, al fine di accelerare il più possibile le manovre di imbarco e sbarco della merce.

Poiché in Liguria esiste una profondità dei fondali che consente di accogliere le *mega-containership*, ma mancano gli spazi per realizzare piattaforme logistiche al servizio del porto, il Piemonte si candida come sede del "retroporto di Genova" e si propone attore di un ampio progetto di sviluppo di infrastrutture di trasporto e di spazi per attività logistiche. Le Amministrazioni Pubbliche locali mostrano già un chiaro orientamento nel cercare di cogliere le opportunità offerte dalle evoluzioni del contesto, scongiurando il rischio di una marginalizzazione rispetto ai principali flussi di traffico internazionali. Si tratta di posizioni assunte sia a livello nazionale (Piano per la logistica 2005) che sul piano regionale e locale.

A fronte delle opportunità e dei punti di forza descritti sopra, il Piemonte presenta tuttavia alcune debolezze:

- la favorevole localizzazione a livello europeo è fortemente ostacolata dalle barriere delle Alpi e degli Appennini;

<sup>1</sup> Fonte: Ocean Shipping Consultants

- le infrastrutture di trasporto esistenti sono attualmente congestionate;
- il trasporto merci è caratterizzato dalla frammentazione in piccole e medie imprese degli operatori logistici locali, che soffrono rispetto alle dimensioni e alle capacità dei grandi operatori internazionali, dalle inefficienze nella gestione portuale, dalla situazione di stallo del porto di Genova;
- la mancanza di un disegno organico che guidi iniziative e progetti.

Il Piemonte è sottoposto altresì ad un contesto locale e globale di minacce alla riuscita del progetto logistico territoriale. È vero infatti che stanno nascendo importanti opportunità per il Piemonte, ma non bisogna dimenticare che ad oggi la maggior parte dei flussi merci del porto di Genova è catturata dalla Lombardia (solo il 15% è diviso fra Piemonte, Liguria e Val d'Aosta) e che gli interporti del nord-est (Verona e Padova) sono estremamente competitivi e intercettano quote crescenti del traffico nazionale e internazionale con l'Europa centrale. I valichi alpini sono congestionati ed anche in questo caso i valori storici mostrano tassi di crescita più elevati per le regioni orientali dell'Italia rispetto a quelle occidentali. Inoltre, in Spagna, la crescita d'efficienza dei porti di Valencia e Barcellona e del "sistema" di nodi e assi logistici in corso di realizzazione (ad esempio: piattaforme di Zaragoza, asse Madrid-Parigi) costituisce un alto fattore di concorrenza. Infine, gli investimenti programmati che porteranno tra 15 anni all'allargamento del canale di Panama potrebbero impattare sensibilmente sulla ri-conquistata centralità del Mediterraneo a favore dei porti nord-europei direttamente collegati alla costa americana atlantica.

### 1.2 Il problema della localizzazione del "porto secco" di Genova

Nell'ambito di questo ampio scenario di contesto, il processo di sviluppo logistico in Piemonte è avviato e necessita, proprio in questa fase iniziale, di indicazioni da seguire nella pianificazione degli investimenti in infrastrutture puntuali per la logistica deputate a svolgere la funzione di retroporto per Genova.

Le zone candidate ad ospitare le nuove infrastrutture sono sostanzialmente due: l'area alessandrina e quella novarese (che include ai fini dell'analisi anche Vercelli).

Alessandria beneficia della maggiore prossimità geografica con Genova. Sul suo territorio sono inoltre attivi operatori che vantano rapporti storici con il porto.

Novara è un nodo che si trova all'intersezione dei due corridoi europei, in prossimità di Milano, e, ad oggi, ha intense relazioni commerciali con i porti del nord Europa. La maggiore distanza di Novara da Genova ha un peso trascurabile in termini di *lead time* di trasporto, a causa dell'elevata incidenza dei tempi necessari per le manovre di *handling* portuale e per le procedure doganali rispetto alla durata totale del viaggio.

In entrambe le aree si osserva un proliferare disorganico di progetti per la realizzazione di nuove infrastrutture per la logistica. Studi di settore mostrano un'offerta addizionale di aree per la logistica di circa 15 milioni di metri quadri, a fronte di una dotazione attuale complessivamente inferiore ai 5 milioni. Si tratta di iniziative, anche private, nate dal basso e non inserite in un quadro organico definito ex ante per promuovere la competitività regionale.

Per supportare in maniera integrata e organica le scelte che i soggetti pubblici e privati dovranno prendere e individuare le linee-guida per gli investimenti futuri, è stato sviluppato un modello di comprensione strategica del complesso problema della logistica territoriale in Piemonte nell'ambito di questo lavoro di ricerca.

Come descritto fin ora, la determinazione dell'opportunità e localizzazione di infrastrutture logistiche è un problema complesso, in cui esistono una molteplicità di interazioni non lineari fra una pluralità di variabili. Oggetto di analisi è pertanto il complesso sistema logistico del Piemonte inserito nel suo contesto di traffici g-locali; in tale sistema complesso è importante comprendere sia le relazioni esistenti fra le variabili che lo costituiscono, sia le conseguenti dinamiche evolutive nel tempo.

Si è pertanto reso necessario l'uso di un metodo – e del relativo strumento – che abbia un approccio di carattere sistemico al problema e sia in grado di cogliere gli aspetti di complessità e dinamica del sistema stesso, attraverso la creazione di un modello simulabile al computer.

Tale metodo è stato individuato nei *System Dynamics* (Sterman 2000).

Prima di procedere all'illustrazione del modello utilizzato per gli indirizzi di scelta strategica sulla logistica, è bene introdurre i principali concetti di *System Dynamics*. La trattazione si concentra sugli elementi utili ai fini della comprensione delle dinamiche sistemiche dei sistemi di trasporto e logistica territoriale e, in particolare, del modello elaborato nell'ambito del presente studio.

## 2 Approccio alla soluzione: modello e simulazione con i System Dynamics

I System Dynamics nascono negli anni '60 presso i laboratori del Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, MA, U.S.A.) dove il professore di elettronica Jay W. Forrester si accorge che i principi di relazione tra le parti di un circuito o di un processore di memoria sono assai simili, in termini di logica e descrizione matematica, ai legami che possono instaurarsi tra le variabili che caratterizzano un sistema complesso. La nuova disciplina volta a rappresentare e simulare la struttura dei sistemi prende il nome di *System Dynamics* (SD), proprio dall'intrinseca capacità di studiare, prevedere e comunicare le dinamiche comportamentali dei sistemi complessi (Forrester 1965).

## 2.1 Pensiero sistemico e Causal Loop Diagram

La teoria dei SD si basa sull'approccio sistemico alla soluzione dei problemi, parzialmente in antitesi con l'approccio deterministico tipico della fisica classica. Mentre il pensiero classico individua una serie lineare di cause ed effetti (*linear thinking*), il pensiero sistemico intreccia i possibili legami tra cause ed effetti in un insieme complesso di cicli di feedback. In pratica, anche il *System Thinking*, in analogia a quello classico, ipotizza che un sistema complesso (sia esso un prodotto tecnologico, una comunità, un distretto industriale o un'organizzazione) possa essere descritto attraverso il legame che lega a due a due le variabili del sistema secondo il principio di causa ed effetto, unico modello mentale facilmente comprensibile, permettendo però che a sua volta l'effetto sia causa della precedente e dando vita ad un ciclo chiuso in cui una variabile diventa causa di se stessa.

Si può affermare che la soluzione dei problemi avviene mediante l'individuazione di una causa per un effetto che pensiamo sia un problema, e generalmente la causa costituisce un altro effetto ancora. Al termine del processo di individuazione delle cause e degli effetti, ogni variabile si ritrova ad essere, allo stesso tempo, origine e conseguenza di molte altre, dando luogo alla descrizione completa del sistema attraverso un diagramma di numerosi *feedback loop* causali (ossia una catena chiusa di relazioni causa-effetto per cui una variabile si ritrova ad essere, in fondo, causa di se stessa).

Il diagramma dei feedback loop causali (*Causal Loop Diagram*) è un modello grafico-teorico del sistema reale secondo l'approccio sistemico. Un approccio di questo genere richiede di guardare al sistema o al problema in una maniera nuova: invece di considerare eventi isolati e le relative cause, occorre considerare un'organizzazione o un problema come un sistema composto da fattori che interagiscono tra loro (Coyle 1996).

Per illustrare i principi di rappresentazione di un *Causal Loop Diagram*, consideriamo, con le semplificazioni del caso, il problema della crescita dei volumi di traffico attraverso un interporto rappresentato secondo un diagramma causale (figura 2): tanto maggiore è l'efficienza – e pertanto minori i costi – del sistema di *handling* dell'interporto, maggiori saranno i traffici merci intercettati da quest'ultimo. Gli incrementi di traffico, per l'effetto di economie di scala, creeranno le condizioni per ulteriori efficienze e quindi nuovi incrementi di volumi e via di seguito secondo il criterio della crescita esponenziale o del *reinforcing loop* (contraddistinto dalla lettera R). A bilanciare il fenomeno di crescita infinita subentrano i problemi di congestione delle infrastrutture di accesso. Si ha dunque la presenza di un bilanciamento o *balancing loop* (lettera B) che tende a smorzare la crescita infinita e a riportare il sistema nelle condizioni d'equilibrio secondo le quali il volume di traffico è quello massimo sostenibile dalle infrastrutture esistenti.

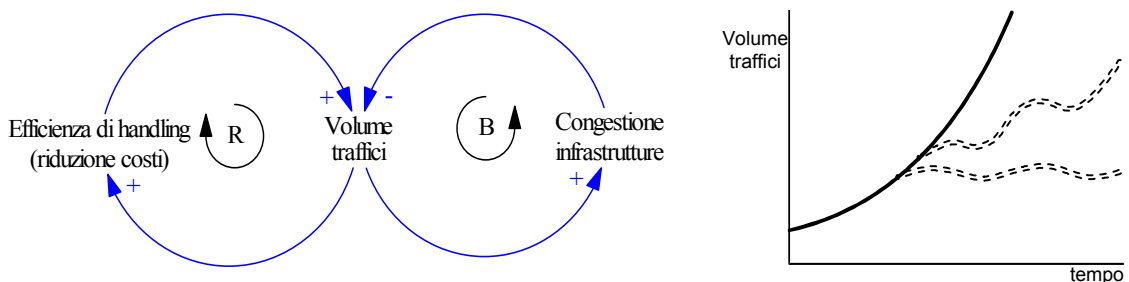


Figura 2 - Causal loop diagram semplificato della dinamica di crescita del traffico di stock

In figura 2, la curva della crescita esponenziale (linea continua del grafico a destra) è bilanciata dal feedback negativo della congestione per cui si ottengono numerosi possibili andamenti smorzati e oscillanti (linee tratteggiate) il cui maggiore o minore effetto è legato all'effettiva preponderanza del tasso di saturazione rispetto a quello di crescita.

Il *Causal Loop Diagram* è la rappresentazione grafica di tutte le grandezze che intervengono nel sistema analizzato e delle loro influenze reciproche, rappresentate da frecce. Il segno positivo o negativo indica se un cambiamento del fattore-causa ha un effetto positivo o negativo sul successore.

Quindi, prima di procedere alla creazione di un diagramma, occorre individuare le grandezze di interesse e investigare quali siano i legami tra di esse. In seguito, si andranno a legare tutte le variabili e a comporre le catene circolari di cause ed effetti in cui una variabile influenza indirettamente se stessa attraverso la serie di altre variabili che possono agire con diversa polarità. Si ottengono pertanto dei *loop* che possono essere di rinforzo (*reinforcing* o positivi) oppure di bilanciamento (*balancing* o negativi).

Il *reinforcing loop* rappresenta il processo di crescita all'interno di un sistema dinamico ed è tale per cui un aumento di una grandezza provoca, attraverso le altre grandezze dell'anello, un ulteriore aumento della stessa. In altri termini, un feedback rinforzante fa crescere esponenzialmente una variabile.

Di contro, in un *balancing loop* l'effetto netto di tutti i cambiamenti all'interno dell'anello sulla variabile di partenza del loop è negativo e per questo viene anche denominato *negative feedback*. In altre parole, un aumento di una grandezza provoca, attraverso le altre grandezze dell'anello, una diminuzione della stessa. La reiterazione del feedback sulla variabile ne crea un andamento oscillatorio intorno ad un certo livello fino a riportarne il valore ad uno stato di equilibrio, un valore desiderato: è il cosiddetto andamento *goal-seeking* (se si considera l'esempio della

limitazione alla crescita dei traffici merci, il volume degli stessi cresce e si riduce periodicamente intorno ad una soglia fisiologica, pari alla capacità delle infrastrutture). L'importanza dell'oscillazione dipende dalla presenza di ritardi significativi tra le cause e gli effetti all'interno del *loop* negativo. Tali ritardi fanno sì che le azioni correttive continuino anche dopo che il *goal* è stato raggiunto, forzando il sistema ad un'eccessiva correzione e dando impulso ad una nuova variazione nella direzione opposta. Il ritardo si può verificare nei legami informativi, oppure ci può essere ritardo nel percepire lo stato del sistema così come rilevato da un meccanismo di misura e di reporting. Ancora, ci può essere un ritardo da quando viene rilevato un gap a quando vengono intraprese le conseguenti azioni correttive per via del tempo impiegato a prendere una decisione. Infine, potrebbe trascorrere un intervallo di tempo da quando viene iniziata un'azione correttiva a quando questa comincia a manifestare i suoi effetti, come ad esempio nel caso di realizzazione di investimenti in infrastrutture di trasporto.

## 2.2 Modellazione e simulazione al computer

Una volta delineato il *Causal Loop Diagram* attraverso i suoi feedback loop, è possibile capire l'andamento nel tempo delle variabili derivante dalla loro azione simultanea. Per studiarne il comportamento, occorre però tradurre il diagramma di influenza in un modello compatibile con la simulazione al computer, unica esperienza in grado di "sommare" i molteplici effetti altrimenti incomprensibili al riduttivo pensiero umano.

La simulazione al computer è realizzata attraverso la definizione di un "*System Dynamics Model*" che rende il *Causal Loop Diagram* leggibile e simulabile con uno specifico pacchetto software (i software per la simulazione di sistemi dinamici maggiormente conosciuti sono iThink - High Performance Systems Inc., Hanover HA, USA - Vensim - Ventana Systems Inc., Harvard MA, USA - Powersim - Model1Data AS., Bergen, Norvegia ).

Il modello per la simulazione include la definizione di alcune variabili fisiche in termini di *stock* e di *flow*, ma soprattutto la definizione delle equazioni che rappresentano i legami di influenza tra variabili. Si osservi, infatti, che nel *Causal Loop Diagram* non è essenziale sapere subito quale sia la relazione matematica che lega la causa all'effetto, ma è sufficiente aver individuato in termini qualitativi il modo in cui essa agisce. La scrittura della relazione matematica che lega causa ed effetto è invece indispensabile nel passo di costruzione del sistema dinamico al computer.

Il modello dinamico di un sistema diventa pertanto un insieme di equazioni differenziali ordinarie, generalmente di tipo non lineare, che legano tra loro le innumerevoli variabili. La sua simulazione è quindi la risoluzione per passi discreti di tale sistema di equazioni.

Come accennato, tutti i software di simulazione basati sui sistemi dinamici consentono (con alcune differenze pratiche) di inserire tre elementi fondamentali: i livelli (*stock*), i flussi (*flow*) e le variabili (*variable*).

Uno *stock* è un punto di accumulo di quantità fisiche, economiche oppure di informazioni, come ad esempio il traffico merci. Generalmente si usano gli stock per descrivere livelli di materiali, personale, beni capitali, denaro, ecc. Uno stock può essere quindi visto come una sorta di serbatoio: l'immagine che tradizionalmente si usa per descrivere uno stock è quella di un contenitore nel quale entra ed esce acqua. Il flusso di acqua entrante o uscente è proprio rappresentato dal *rate*, ossia il tasso di input o output descrivibile in termini di quantità su unità di tempo ( $dQ/dt$ ). Lo stock è pertanto risultante quale l'integrale in  $dt$  del flusso entrante o, meglio, l'integrale della somma dei flussi in entrata meno la somma dei flussi in uscita.

Gli stock sono graficamente rappresentati con un rettangolo, mentre un flusso con una freccia (figura 3).

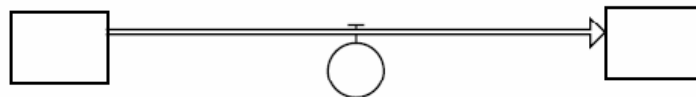


Figura 3 - Rappresentazione grafica di un flusso che collega due stock.

Il simbolo circolare presente sul flusso ha la funzione di un "rubinetto" che controlla la quantità che in ogni istante entra o esce da uno stock e rappresenta quindi il tasso, costante o variabile di entrata/uscita.

Con gli elementi fondamentali descritti è possibile realizzare una nuova rappresentazione grafica del sistema studiato che prende il nome di diagramma "*stock&flow*". Come un *Causal Loop Diagram*, un diagramma *Stock&Flow* mostra le relazioni tra le variabili che possono cambiare il loro valore nel tempo, ma a differenza del primo distingue tra i diversi tipi di variabile. Infatti, a ciascun elemento del sistema corrisponde un simbolo grafico distinto. Pertanto, in un diagramma *stock&flow* sono presenti le stesse grandezze e le stesse relazioni presenti nel corrispondente *causal loop diagram*, con la differenza però che è stata individuata la natura di ciascuna di esse e scritte le equazioni matematiche che ne regolano i rapporti di causa-effetto.

Ad esempio, nel diagramma di figura 4, l'equazione che caratterizza il legame tra lo stock "Merci a magazzino" e il suo flusso entrante "Merci entranti" avrà la seguente sintassi:

$$\text{Merci a magazzino} = \text{INTEG} (\text{Merci entranti}) dt ; \text{INITIAL: } 0 \quad (1)$$

Il tasso di merce entrante potrà essere, a sua volta, determinato da:

$$\text{Merci entranti} = \text{Merci fornitore} / \text{Tempo trasporto} \quad (2)$$

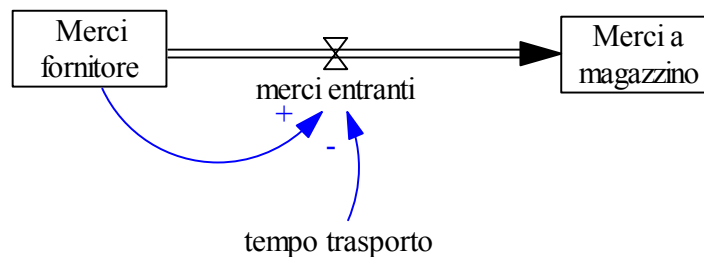


Figura 4 – Modello che descrive l'andamento dello stock di merci entranti.

I software disponibili presentano sintassi diverse, ma, indifferentemente, hanno una libreria di operatori matematici standard pronti all'uso. Un vantaggio di semplicità d'uso è dato dalla possibilità di scrivere l'equazione usando i nomi degli elementi del diagramma, proprio come sopra. Inoltre, solitamente i software di simulazione aiutano a scrivere le equazioni e le condizioni di inizializzazione in equilibrio della simulazione.

La simulazione al computer consiste pertanto nella soluzione delle equazioni che compongono il modello matematico del sistema trattato, determinando così il valore delle variabili. L'utilizzo di un sistema automatico di computo delle equazioni si rende necessario poiché una soluzione manuale risulterebbe alquanto onerosa, data la loro complessità e il loro numero solitamente piuttosto elevato.

La definizione del modello del sistema da simulare avviene innanzitutto mediante la sua specifica grafica: in un'apposita finestra viene tracciato il diagramma *Stock&Flow* utilizzando i blocchi fondamentali supportati da qualsiasi tipo di software.

Quando viene eseguita la simulazione, il programma simula un periodo di attività del sistema esaminato e comunica all'utente, avvalendosi anche di strumenti grafici, il valore assunto in tale intervallo di tempo dalle variabili definite nel modello. Modificando le equazioni, i valori iniziali degli stock e gli altri parametri della simulazione, sarà possibile analizzare come varia il comportamento del sistema al mutare delle condizioni che lo caratterizzano.

In sostanza, i risultati delle simulazioni al computer sono uno strumento di supporto alle decisioni che aiuta a superare i limiti dei modelli mentali basati sulle tecniche analitiche e sull'esperienza; di conseguenza, sono strumenti utili per il "policy making" (Coyle 1985).

I sistemi complessi si prestano all'analisi rigorosa di un modello virtuale (Sterman 2000): appartengono infatti alla categoria dei sistemi dinamici complessi perché hanno innumerevoli componenti interdipendenti, sono estremamente dinamici, implicano numerosi processi di feedback, relazioni non lineari tra variabili e coinvolgono sia dati quantitativi che fattori immateriali.

Esiste anche un altro vantaggio: l'approccio basato sui *System Dynamics* non richiede notevoli nozioni matematiche. Di tutte le situazioni complesse è possibile realizzare un modello matematico complesso che richiede però skill scientifici molto evoluti. I *System Dynamics* permettono invece di analizzare tali situazioni in maniera sufficientemente approfondita senza ricorrere a sofisticati strumenti matematici, ma a software relativamente semplici da apprendere e usare nella realtà operativa di un problema (Lyneis 1999).

### 3 Necessità di realizzare una nuova piattaforma logistica: il modello

#### 3.1 Obiettivi del modello

Il modello System Dynamics (SD) dettagliato di seguito approfondisce la scelta di carattere strategico relativa alla necessità di realizzare in Piemonte una nuova piattaforma con funzione di retroporto di Genova. In particolare, è finalizzato a studiare gli effetti della disponibilità di aree logistiche su tre variabili chiave:

- i volumi di merce afferenti al porto di Genova (variabile Traffico Reale Mare Genova);
- i volumi di merce provenienti/diretti dal/al porto di Genova che transitano attraverso il territorio piemontese (variabile Traffico Reale Terra Transit), includendo sia i semplici flussi di attraversamento sia la quota di traffici che subisce lavorazioni a valore aggiunto sul territorio;
- i volumi di merce afferenti al porto che sono sottoposti ad attività a valore aggiunto nel retroporto (variabile Traffico Reale Terra Stock). Tali traffici hanno un impatto positivo in termini di sviluppo del territorio, mentre nel caso di puro attraversamento questo subisce prevalentemente gli effetti negativi di un incremento dei flussi, quali congestione, inquinamento, etc.

Come discusso in seguito, si tratta di variabili endogene, interne al modello, legate tra loro da relazioni di causa ed effetto.

Come accennato, il modello si concentra su due aree territoriali di interesse: Alessandria e Novara. Lo sviluppo del modello e la successiva simulazione numerica permettono di:

- *Valutare la necessità/convenienza di costruire una nuova piattaforma che serva da retroporto:* questo problema è studiato attraverso la determinazione della capacità ottimale delle aree logistiche presenti sul territorio. Se tale valore fosse minore o uguale rispetto alla dotazione attuale, le suddette aree risulterebbero sovradimensionate e quindi sufficienti a coprire gli incrementi dei traffici previsti. La capacità totale è ripartita in due sottoinsiemi in base alla collocazione geografica dell'offerta, capacità dell'area di Novara e capacità dell'area di Alessandria.
- *Determinare il grado di concentrazione/frammentazione ottimale dell'offerta:* nel caso l'attuale capacità fosse sottodimensionata, occorre indagare il numero ottimale di siti distinti che dovrebbero essere realizzati. Questo aspetto non può prescindere dal fatto che il Piemonte non è più un *green field* dal punto di vista della dotazione di infrastrutture logistiche di rete e puntuali. Parlare di concentrazione in tale contesto significa sostanzialmente scegliere come ripartire la capacità totale, se costruire un unico nuovo polo, nella area di Alessandria o in quella di Novara, oppure realizzarne due, uno a Novara e uno ad Alessandria. In questa ultima circostanza il modello consente di determinare l'area sulla quale concentrare buona parte degli investimenti.
- *Individuare le relazioni dinamiche tra Novara ed Alessandria:* per studiare gli effetti della concentrazione, occorre capire se le dinamiche di interazione tra le aree di Novara ed Alessandria attualmente sono di tipo competitivo o collaborativo. Ciò farà comprendere se sia più conveniente investire in entrambi i siti o privilegiarne soltanto uno dei due.

### 3.2 Rappresentazione del problema tramite Causal Loop Diagram

Il primo passo verso la realizzazione del modello basato sui SD è la formalizzazione all'interno di un Causal Loop Diagram (CLD) delle grandezze coinvolte e delle loro relazioni di causa ed effetto. Per il problema in esame, il CLD è costituito da cinque macro-aree fondamentali (figura 5):

- *Area Mare:* rappresenta le relazioni esistenti tra il traffico reale mare e la dotazione di infrastrutture del lato mare. Questa ultima fa riferimento alla profondità dei fondali del porto di Genova, con conseguente possibilità di accogliere le navi *mega-containership*, all'estensione delle banchine, alla disponibilità ed efficienza dei dispositivi per l'imbarco e lo sbarco delle merci, alle infrastrutture di rete per la viabilità interna al porto e ai loro raccordi con la viabilità esterna.
- *Area Terra Transit Genova:* studia gli effetti dei flussi di merci provenienti da Genova che transitano sul territorio piemontese e, in particolare, alessandrino. Il traffico porta congestione e domanda di capacità. Per non complicare ulteriormente il modello, è stato scelto di non distinguere tra rete stradale e rete ferroviaria, ma di considerare una capacità e domanda di rete complessiva.
- *Area Terra Transit:* riguarda i flussi da/verso il nord Europa che non sono legati al porto di Genova. E' opportuno inserire anche questa area in quanto da un'analisi dello stato dell'arte emerge che lo sviluppo di Novara almeno in parte prescinde dai traffici del porto di Genova. Infatti, oggi il principale mercato di riferimento dell'interporto novarese (CIM) sono i porti del nord Europa e l'apertura della galleria del Lötschberg della Nuova Ferrovia Transalpina potrebbe avere effetti non trascurabili sullo sviluppo dei transiti.
- *Area Terra Stock Novara:* studia la quota del traffico complessivo che sosta in piattaforme logistiche dell'area di Novara.
- *Area Terra Stock Alessandria:* studia la quota del traffico complessivo che sosta in piattaforme logistiche dell'area di Alessandria.

Le macro-aree individuate non sono tra loro indipendenti. Infatti, sussistono le seguenti relazioni:

- il traffico su terra ad Alessandria dipende dal traffico via mare da/verso Genova;
- il traffico su terra a Novara è influenzato anche dal traffico di Alessandria e, quindi, dai flussi via mare del porto di Genova;
- i volumi di merci presso le piattaforme logistiche di Alessandria/Novara sono legati ai flussi in transito nell'area alessandrina/novarese;
- tutti i traffici di Alessandria e di Novara, relativi sia a merci in transito (transit) sia a merci che sono stoccate e subiscono lavorazioni a valore aggiunto (stock), influenzano il traffico merci del porto di Genova.



All'interno dell'Area Mare si trova il loop di bilancio "Assorbimento della domanda di traffico mare" (figura 6). La variabile Traffico Potenziale Mare rappresenta la domanda da soddisfare, e quindi il limite superiore al traffico mare effettivo (Traffico Reale Mare Genova), ed è condizionata da fattori esogeni quali l'incremento prospettico del traffico di container dall'Estremo Oriente. All'aumentare del Traffico Potenziale Mare aumenta la Capacità Desiderata Mare, ovvero la ricettività del porto desiderata in termini di banchine e interconnessioni con l'esterno. Un incremento di tale capacità comporta un aumento del volume degli investimenti dal lato mare che, a sua volta e con un ritardo pari al tempo di realizzazione degli investimenti, incrementa la Capacità Effettiva Mare disponibile. Si osservi che gli investimenti sono limitati, ad esempio dai vincoli di finanza pubblica o dal valore del tasso di sconto (Limiti Investimenti Mare). L'aumento della Capacità Effettiva Mare fa crescere, sebbene non immediatamente, l'attrattività del mare e con essa il Traffico Reale Mare Genova, variabile a sua volta influenzata dalle scelte strategiche e dagli investimenti dei porti concorrenti. Quando aumenta il traffico reale via mare si riduce la domanda ancora da soddisfare e si avranno valori decrescenti di Capacità Desiderata Mare e di volumi di investimenti effettuati. Ciò

comporterà incrementi decrescenti di capacità effettiva e quindi di attrattività e incrementi progressivamente inferiori di Traffico Reale Mare Genova. In particolare, questo ultimo si stabilizzerà ad un livello costante che consente di minimizzare la domanda residua non soddisfatta. A seguito di nuova domanda da parte di fattori esterni non controllabili, il traffico reale ricomincerà a crescere fino a stabilizzarsi ad un nuovo livello costante (comportamento di tipo *goal seeking*).

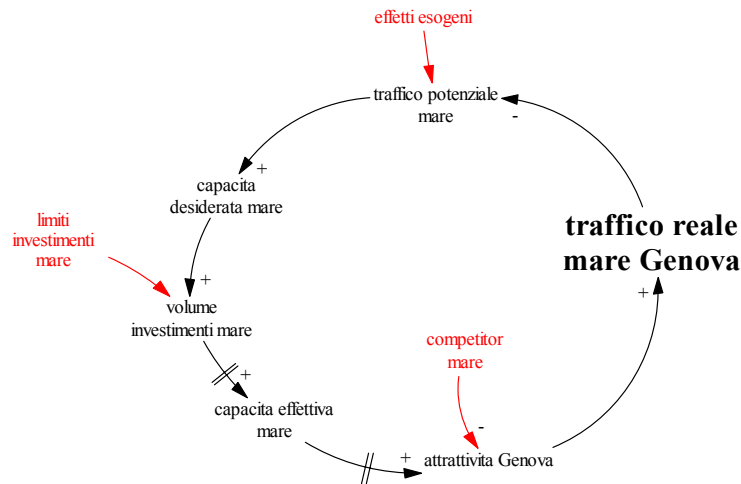


Figura 6 - Loop di assorbimento della domanda di traffico mare

Tra i loop principali di ciascuna delle Aree Transit si possono citare i seguenti:

- **Assorbimento del desiderio di capacità** (figura 7 per il caso di Novara): si tratta di un loop di bilancio. Maggiore è la capacità desiderata per la rete dei trasporti su gomma e su ferro e maggiore sarà il valore della variabile Rete Desiderata, la quale rappresenta gli investimenti programmati. Pertanto, la decisione di investire assorbe progressivamente il desiderio di capacità secondo un comportamento di tipo *goal seeking*.
- **Capacità e congestione**: è questo un loop di rinforzo (figura 8 per il caso di Novara). L'aumento del traffico in transito (Traffico Reale Terra Transit) fa aumentare la capacità rete desiderata e quella effettiva. In questo modo si riduce la congestione e aumenta l'Attrattività Transit facendo ulteriormente incrementare il traffico. La variabile Traffico Reale Terra Transit segue quindi un *exponential growth*.

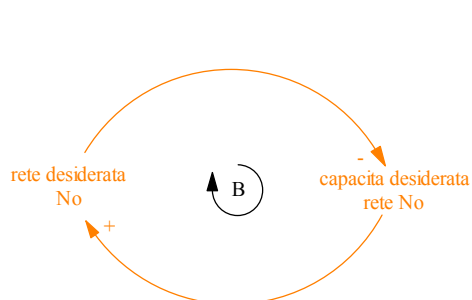


Figura 7: Loop di assorbimento del desiderio di capacità

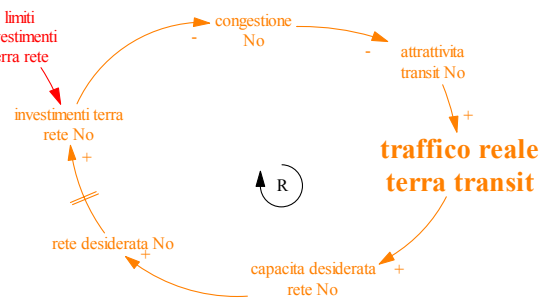


Figura 8: Loop di capacità e congestione

I loop delle Aree Stock rappresentano sostanzialmente il processo di sviluppo virtuoso indotto dalla crescita del traffico che subisce lavorazioni a valore aggiunto sul territorio. Si osserva che i loop delle aree transit si ripercuotono anche sulla parte stock del modello. Infatti, il traffico stock ad Alessandria dipende dal traffico in transito da/verso Genova e, analogamente, il traffico stock a Novara è funzione del traffico in transito nell'area novarese. Si vengono così a creare delle coppie di variabili con lo stesso andamento.

Passando ora ai loop trasversali alle macro – aree, il loop trasversale alle Aree Stock determina una relazione del tipo preda – predatore tra Novara e Alessandria (figura 9). Infatti, gli eventuali squilibri esistenti tendono a confermarsi e ad accentuarsi nel tempo: un incremento del traffico stock di Novara determina una riduzione del traffico stock di Alessandria, la quale a sua volta fa aumentare nuovamente il traffico di Novara e così via.

Per quanto concerne le macro-aree Transit, si può osservare che, se aumenta il traffico terra nell'area di Alessandria da/verso Genova, allora aumentano anche i flussi che interessano Novara. Questo collegamento genera alcuni loop

di congestione, di capacità e di capacità e congestione insieme. In figura 10 è riportato a titolo di esempio il loop di congestione.

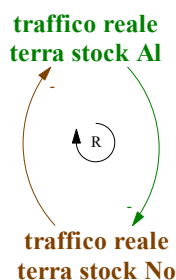


Figura 9 - Loop stock Al vs stock No

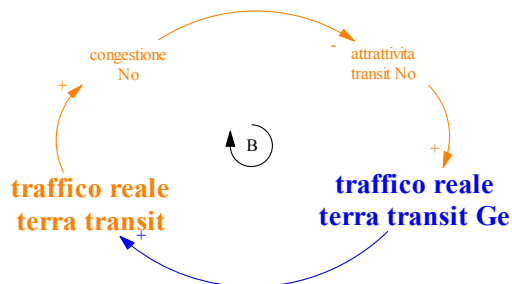


Figura 10 - Loop di congestione

Esistono, però, anche altri legami tra le due Aree Transit. Infatti, l'attrattività transit di Novara incide sul traffico transit nell'area di Alessandria e viceversa. La presenza di tali collegamenti porta alla formazione di loop doppi all'interno del modello, costituiti dalla combinazione di due loop elementari di congestione, capacità o capacità e congestione. Uno di questi loop doppi è quello che si potrebbe denominare "Congestione Alessandria + Congestione Novara". Se aumenta il traffico ad Alessandria aumenta la congestione nella zona la quale riduce l'attrattività per il transito in quell'area. Contemporaneamente, vi sarà una diminuzione del traffico in transito a Novara riducendo la relativa congestione. Aumentano l'attrattività per il transito a Novara e il traffico in transito ad Alessandria. Ne risulta che uno dei due traffici transit avrà andamento crescente nel tempo, mentre i valori dell'altro saranno decrescenti.

Infine, esistono dei loop trasversali alle macro-aree Transit e Mare. Ad esempio, all'aumentare del traffico mare aumenta anche il traffico transit e questo provoca una maggiore congestione delle infrastrutture con conseguente riduzione dell'attrattività e dei traffici. Ciò farà diminuire la congestione e aumentare nuovamente l'attrattività e i traffici. Pertanto, i traffici saranno in fase tra loro e avranno un comportamento di tipo oscillatorio.

### 3.3 Il diagramma Stock and Flow

Il diagramma Stock and Flow (S&F) sviluppato a partire dal CLD dettagliato al paragrafo precedente presenta tre macro-aree principali:

- i flussi di merci (figura 11);
- gli investimenti in infrastrutture (figura 12);
- l'attrattività e le quote (figura 13).

Esse sono legate tra loro da un macro-loop che si fonda sul fatto che le attrattività, i cui valori dipendono dai traffici effettivi, dalla domanda potenziale e dall'offerta di infrastrutture, determinano il valore delle quote dei flussi di merci che interessano ciascuna area geografica e, di conseguenza, le attrattività stesse.

Considerando la porzione di modello relativa ai flussi merci, si osserva innanzitutto che i traffici transit sono distinti in flussi che interessano l'area di Alessandria e flussi relativi all'area di Novara. Inoltre, la quota di traffico potenziale attraverso il Mediterraneo che è intercettata dai porti del nord Europa non è una variabile esogena in quanto è influenzata in parte dall'attrattività dell'area novarese.

Come visibile in figura 11, nella parte di S&F inerente ai flussi esistono un'area Traffico Mare e delle aree Traffico Transit e Traffico Stock. Tra gli aspetti fondamentali del Traffico Mare, si ricorda che, per le dinamiche appena accennate, il traffico transit internazionale del Piemonte è influenzato dallo sviluppo dei porti dell'Europa settentrionale. Occorre poi tenere presente che il traffico intercettato da Genova è superiormente limitato dalla capacità delle infrastrutture del porto. I flussi transit effettivi sono determinati confrontando la domanda e l'offerta di infrastrutture e solo una loro quota parte è sottoposta a stoccaggio. Dopo un certo periodo di tempo, le merci stoccate usciranno dalla piattaforma logistica per proseguire il loro percorso. Nel modello, il tempo che le merci rimangono in giacenza ad Alessandria è stato assunto superiore al tempo di permanenza presso il sito di Novara, in maniera da riflettere il fatto che attualmente Alessandria è sede di un maggior numero di attività logistiche a valor aggiunto rispetto a Novara, dove invece prevale la logistica distributiva. Da un lato ciò tende a penalizzare Alessandria in quanto, se le merci rimangono per più tempo all'interno della piattaforma, la situazione è potenzialmente più critica dal punto di vista dei vincoli di capacità stock. Tuttavia, possono esistere benefici sul versante economico perché le attività logistiche svolte in quest'area consentono di ottenere un valore aggiunto e utile per TEU (twenty feet equivalent unit) maggiori rispetto alle mere attività distributive. Pertanto, il minor turnover è compensato da un maggiore valore economico unitario generato dalle merci trattate. Un'ulteriore considerazione deve essere eseguita a proposito della domanda di infrastrutture di rete. Tutte le merci che attraversano il territorio piemontese richiedono infrastrutture per il transito, indipendentemente dal fatto che siano o meno oggetto di stoccaggio. Le merci che

subiscono operazioni di logistica a valore aggiunto esprimono, però, una duplice domanda di infrastrutture di rete: per accedere alla piattaforma e per essere trasferite da questa al mercato finale.

La seconda parte dello S&F è quella riguardante gli investimenti. Gli investimenti in infrastrutture di rete sono rappresentati come variabili esogene. Più precisamente, sono stati presi in considerazione i macro-progetti interessanti le due aree geografiche studiate per i quali esista almeno un progetto preliminare. Per Alessandria ci si riferisce ad interventi di ottimizzazione della rete, previsti per il 2007, e al Terzo Valico, programmato invece per il 2016. Per Novara, invece, il riferimento è costituito dal Löttschberg, dal Gottardo e dal nuovo assetto del nodo ferroviario della città, rispettivamente previsti per il 2007, il 2016 e il 2018. Gli investimenti in infrastrutture puntuali sono invece le variabili sulle quali insistono le leve decisionali del modello, ovvero l'importo degli investimenti e il tempo in cui la capacità di stock addizionale diventerà disponibile. L'attenzione è qui concentrata sull'entità dell'investimento complessivo, sulla sua ripartizione tra le due aree e sull'analisi degli effetti sul sistema di una variazione del tempo di investimento.

Altro elemento fondamentale in questa porzione di S&F sono le attrattività. Quella relativa alla capacità di stoccaggio dipende dal valore complessivo del traffico stock, dalla capacità libera rispetto alla capacità totale, o dalla domanda non soddisfatta sulla domanda totale, e dal mercato potenzialmente servibile da ciascuna delle due aree. Le attrattività dei trasporti ferroviari e su gomma sono influenzate dal grado di congestione delle infrastrutture di rete. Inoltre, il valore dell'attrattività transit sarà positivo se l'offerta di capacità supera la domanda e sarà tanto maggiore quanto maggiore è la capacità libera sulla capacità totale. Esso sarà invece negativo se la domanda di capacità è superiore rispetto all'offerta: in questo caso il valore assoluto sarà tanto maggiore quanto più elevata è la domanda non soddisfatta. Le attrattività sono però percepite dagli operatori solo dopo un certo periodo di tempo, che sarà tanto minore quanto maggiori sono ad esempio gli investimenti in promozione e marketing territoriale.

Se nella seconda porzione dello S&F si determinano i valori delle attrattività, nella terza si chiarisce invece il loro ruolo all'interno dell'intero sistema. Più precisamente, le attrattività vanno a condizionare l'entità delle quote dalle quali dipendono i flussi dell'area merci del modello. Si osserva in particolare che la quota del traffico potenziale attraverso il Mediterraneo intercettata dai porti del nord non è una variabile esogena, ma dipende dalle dinamiche interne del sistema. Nel caso di Alessandria, l'attrattività condiziona sostanzialmente la quota del traffico potenziale catturata da Genova e il traffico stock dell'area alessandrina. Per Novara è invece interessante notare come una maggiore attrattività stock vada sia a beneficio che a danno del Piemonte. Infatti, da un lato si replica la tipologia di legami dell'area alessandrina, dall'altro una maggiore competitività di Novara va anche a favore dei flussi intercettati dai porti del nord e quindi a discapito di Genova. L'influenza dell'attrattività di Novara sul "lato Genova" dei traffici è inferiore a quella esercitata dall'attrattività di Alessandria. Anche il danno subito in caso di mancato decollo dei traffici dei porti liguri è però inferiore per Novara rispetto ad Alessandria, proprio in virtù del peso rappresentato dalle relazioni con il nord Europa.

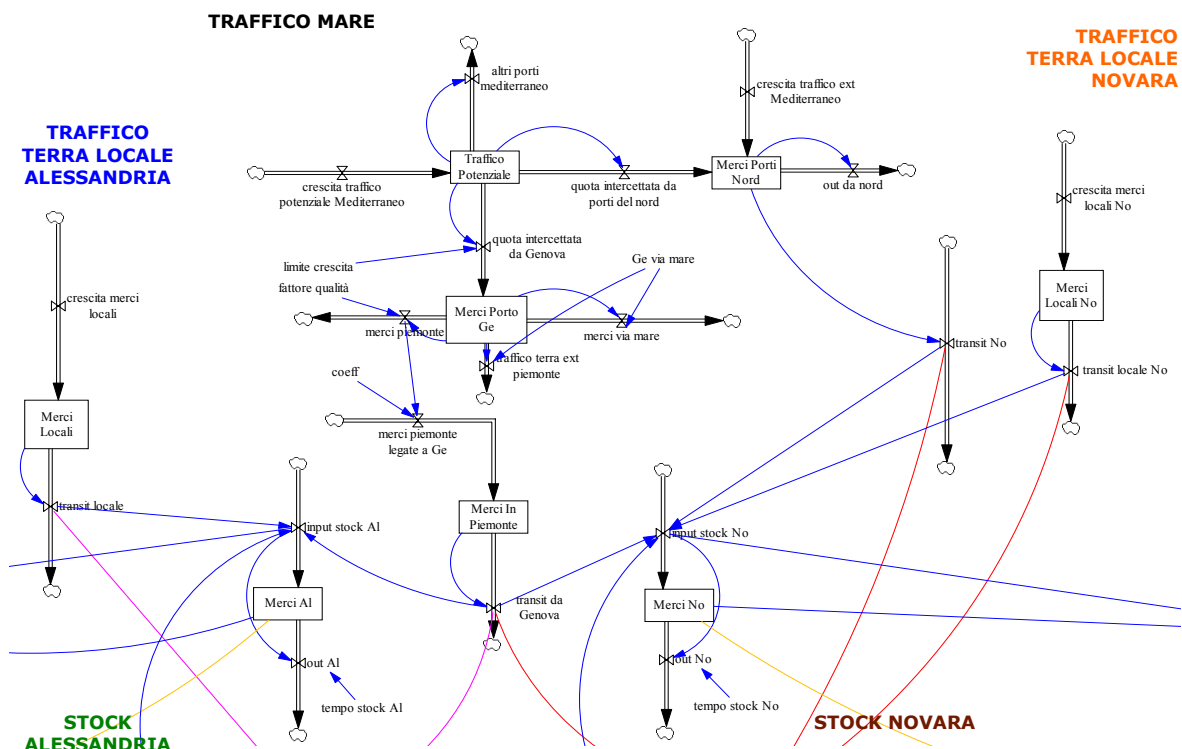


Figura 11- Flussi merci

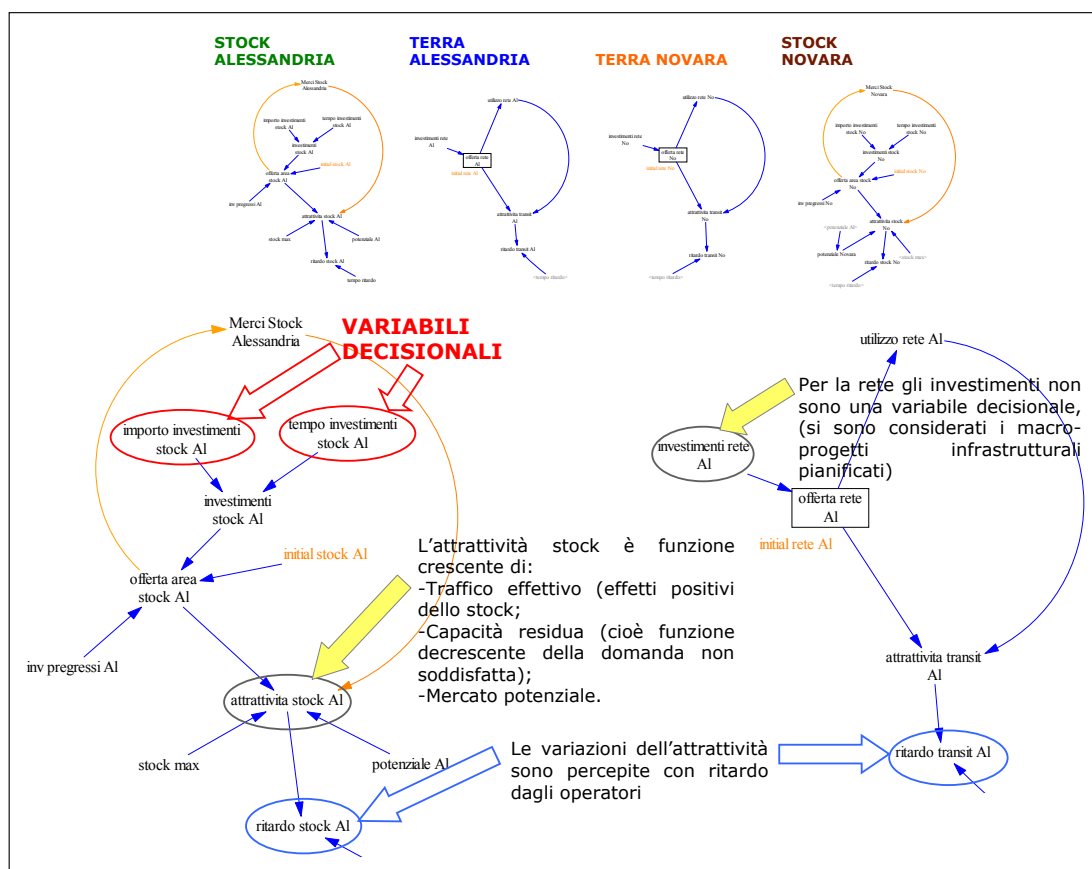


Figura 12 - Investimenti e attrattività

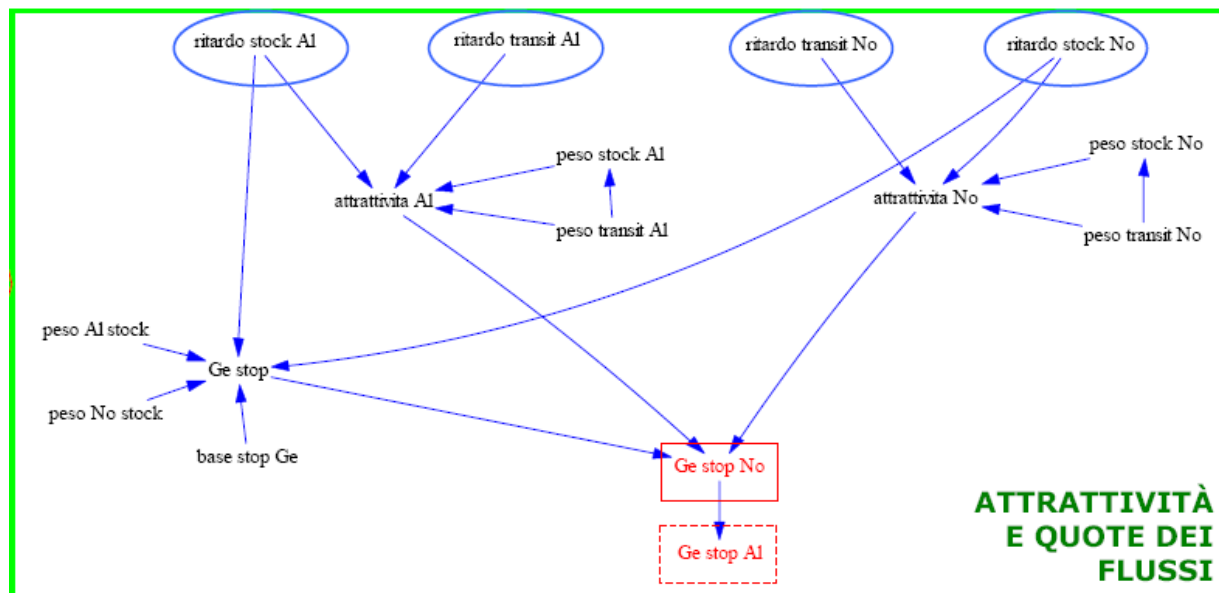


Figura 13 - Attrattività e quote dei flussi

### 3.4 Input ed output del modello e orizzonte temporale di riferimento

Prima di procedere con la validazione e l'esposizione dei risultati della simulazione è opportuno chiarire quali siano gli input e gli output.

Gli input sono costituiti dagli importi e dai tempi di investimento nelle aree di Novara e di Alessandria. I primi sono rappresentati dai TEU/mese incrementali che potranno essere stoccati grazie agli investimenti realizzati, mentre il tempo indica il mese a partire dal quale si avrà a disposizione la capacità aggiuntiva.

Il principale output è invece la cumulata delle merci complessivamente stoccate all'interno dell'orizzonte temporale di riferimento. Poiché a maggiori volumi di merci non corrisponde necessariamente un maggiore valore netto generato dall'investimento, per vagliare la convenienza dei diversi scenari è stato necessario ricorrere al calcolo di una sorta di valore attuale netto (VAN). Dal momento che i dati disponibili non fornivano i flussi di cassa medi in ingresso per ogni TEU, per la sua determinazione si è fatto riferimento all'utile netto maggiorato del 30% e ai benefici netti per lo stato in termini di entrate. Per confrontare tra loro le varie alternative si è ritenuto più significativo far riferimento agli incrementi della cumulata delle merci totali e del "VAN" ottenuti a seguito dell'investimento, piuttosto che ricorrere ai valori totali di queste variabili.

L'investimento oggetto di decisione è il nuovo macro-investimento inerente alle infrastrutture puntuali. Gli investimenti pregressi sono ormai affondati e rappresentano soltanto costanti che traslano l'esborso complessivo delle diverse alternative senza alterare le relazioni tra queste. Analogamente, gli investimenti in infrastrutture di rete, che esulano dallo scopo del modello, sono stati rappresentati come variabili esogene e quindi sono sostanzialmente delle costanti che possono essere trascurate. Il costo dell'investimento è lo stesso sia a Novara sia ad Alessandria e per stimarlo è stato fatto riferimento a piani industriali della Finpiemonte S.p.A. Il valore generato dalle merci stoccate è stato invece desunto da dati Confetra (Confetra 2003). Più precisamente, è stato considerato il valore aggiunto, l'utile netto e i benefici per lo stato in termini di entrate fiscali a vario titolo per ogni TEU oggetto di attività logistica a valore aggiunto o di logistica distributiva.

La simulazione del modello si estende su un orizzonte temporale di 21 anni, con inizio a gennaio 2000 e termine a dicembre 2020. Il *time step* scelto è quello mensile. I primi cinque anni di risultati sono stati confrontati con i rispettivi valori storici per testare la validità del modello. Dal gennaio 2005 in poi quest'ultimo è stato utilizzato per prevedere gli andamenti delle variabili del sistema.

### 3.5 Cenni sulla validazione del modello

Affinché le simulazioni effettuate abbiano valore, è necessario che il modello dimostri di essere valido, ovvero di essere in grado di spiegare gli andamenti osservati in passato per determinate variabili. Nel caso in questione tali variabili sono i volumi di merce oggetto di stoccaggio rispettivamente a Novara e ad Alessandria. Le figure 14 e 15 mostrano in rosso i valori storici osservati per le grandezze di riferimento e in blu i valori ottenuti con la simulazione. Si osserva come il modello rifletta adeguatamente gli andamenti verificatisi nel passato.

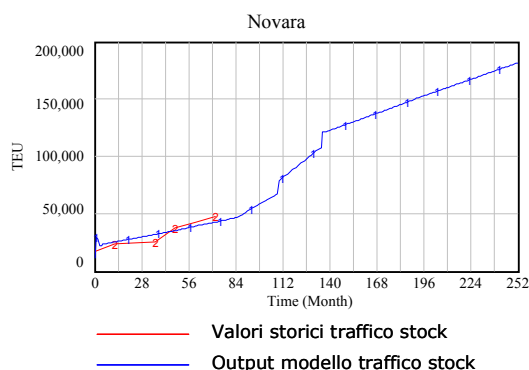


Figura 14 - Validazione Novara

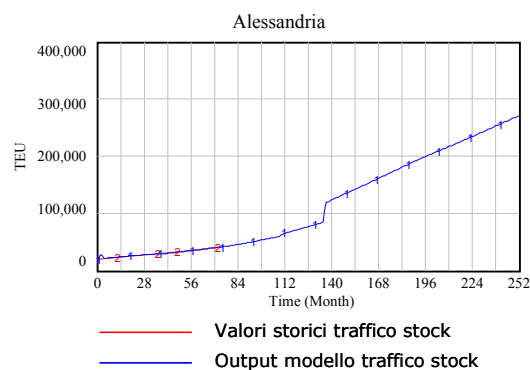


Figura 15 - Validazione Alessandria

### 3.6 Risultati della simulazione e policy design

Le simulazioni, realizzate mediante il software Vensim, sono state effettuate osservando un metodo di tipo iterativo. La necessità/convenienza del retroporto, il grado di concentrazione ottimale e i tempi di investimento non sono questioni tra loro indipendenti, ma per ragioni di complessità computazionale sono state analizzate singolarmente.

Ottenuta un'ottimizzazione locale, i valori determinati sono stati inseriti negli altri sotto-problemi, fino a giungere ad una situazione di stabilità. I valori esposti in questo paragrafo sono quelli osservati in corrispondenza dell'ottimo globale e sono stati ottenuti sotto due ipotesi fondamentali: investimenti da parte del porto di Genova che rendano progressivamente meno stringenti i vincoli di capacità dello scalo e intensificazione dei rapporti commerciali fra il porto ligure ed il territorio piemontese.

Si riportano nel seguito i risultati relativi ai tre problemi oggetto di indagine del modello.

Problema 1. Valutare la necessità/convenienza di costruire una nuova piattaforma che serva da retroporto.

Per quanto concerne l'importo totale dell'investimento, le curve che rappresentano l'andamento della cumulata delle merci e del "VAN" in funzione dell'investimento complessivo sono monotone crescenti (figure 16 e 17). Nell'ipotesi di risorse finanziarie illimitate, l'investimento ottimale sarebbe il valore massimo compatibile con i vincoli fisici di superficie disponibile. Siccome, però, le risorse finanziarie a disposizione non sono infinite e non sono reperibili a costo nullo, è bene tenere presente che il rendimento dell'investimento è decrescente: l'incremento dell'output ottenuto a parità di aumento dell'investimento totale diminuisce all'aumentare del valore assoluto dell'investimento.

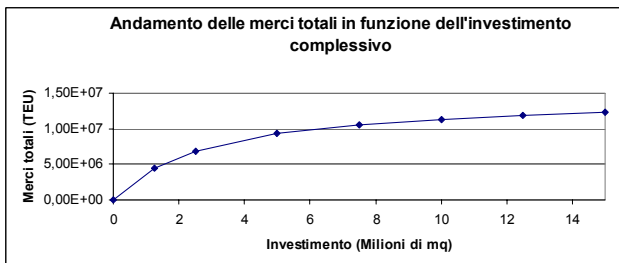


Figura 16 - Investimento: cumulata merci

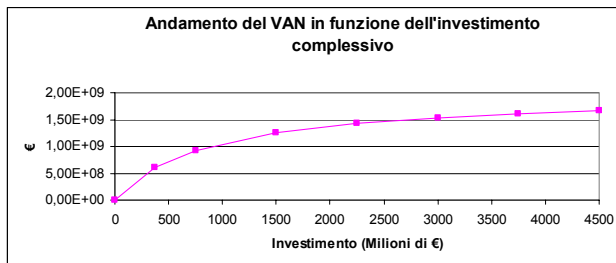


Figura 17 - Investimento: "VAN"

Problema 2. Determinare il grado di concentrazione/frammentazione ottimale dell'offerta

Venendo ora alla ripartizione dell'importo totale dell'investimento fra Novara e Alessandria, la figura 18 mostra come i valori più elevati della cumulata delle merci stoccate si registrano nel caso in cui l'investimento complessivo, assunto pari a 10 milioni di m<sup>2</sup>, sia suddiviso all'incirca in quote uguali tra le due aree. Dai valori agli estremi della diagonale principale si deduce che concentrare gli investimenti a vantaggio di una sola zona penalizzerebbe l'intero sistema.

Applicando il metodo di bisezione si è ottenuta la ripartizione ottimale dell'investimento globale: 41% ad Alessandria e 59% a Novara. Ad analoghe conclusioni si perviene studiando l'andamento del "VAN" al variare delle percentuali investite. La ripartizione ottimale varia in funzione dell'importo complessivo dell'investimento (figura 19), ma in ogni caso, per una buona performance del sistema, è consigliabile non realizzare in un sito una quota superiore al 75% dell'investimento totale. Inoltre, l'analisi degli scenari che prevedono una ripartizione quasi paritaria degli investimenti dimostra che uno sbilanciamento di questi a favore di Novara comporta una riduzione della cumulata delle merci inferiore a quella che si avrebbe nel caso opposto. Pertanto, volendo/dovendo sbilanciare gli investimenti, o al limite investire in una sola zona, è preferibile farlo a vantaggio dell'area novarese.

MERCİ TOTALİ (TEU)					
Alessandria	RIPARTIZIONE DELL'INVESTIMENTO COMPLESSIVO				
100%	5,12E+06				
75%		1,04E+07			
50%			1,127E+07		
25%				1,12E+07	
0%	0,00E+00				7,11E+06
	0%	25%	50%	75%	100%
	Novara				

Figura 18 - Effetti sulla cumulata merci della ripartizione

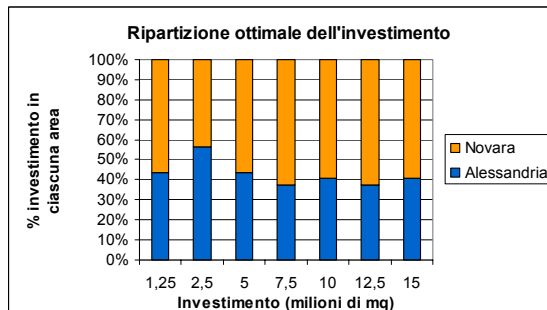


Figura 19 - Ripartizione ottimale dell'investimento

Problema 3. Stimare gli opportuni tempi di investimento

La capacità addizionale di infrastrutture logistiche necessita di un tempo minimo per essere operativa, tempo che tiene conto delle procedure autorizzative, della stesura dei progetti, del reperimento delle risorse finanziarie e della realizzazione concreta delle opere. Nel modello è stata posta una soglia minima ad inizio gennaio 2009. Tanto più l'investimento è ritardato nel tempo, tanto maggiore è la quota del traffico potenziale sottratta dai competitor e tanto più elevato sarà il costo opportunità del non investire. A tal proposito è stato individuato un orizzonte massimo di investimento pari a dicembre 2014. Le figure 20 e 21 mostrano rispettivamente il valore della cumulata delle merci e quello del "VAN" al variare del tempo in cui investimento si traduce in capacità addizionale ad Alessandria e a Novara (righe e colonne della tabella). Dai dati emerge come sia preferibile anticipare il più possibile l'investimento. Se invece si dovesse dilazionarlo nel tempo, si rivela più opportuno anticipare l'intervento a Novara rispetto a quello ad Alessandria.



MERCİ TOTALİ (TEU) - Investimento: 10 milioni di mq			
Alessandria	Novara		
	108	144	180
108	1,13E+07	1,07E+07	9,25E+06
144	1,12E+07	1,05E+07	9,08E+06
180	1,05E+07	9,82E+06	8,51E+06

Figura 20 - Tempo di investimento: merci totali

VAN (€)			
Alessandria	Novara		
	108	144	180
108	1,54E+09	1,38E+09	1,14E+09
144	1,50E+09	1,35E+09	1,10E+09
180	1,37E+09	1,22E+09	9,92E+08

Figura 21- Tempo di investimento: "VAN"

Al termine dell'esposizione dei risultati della simulazione pare interessante accennare a come questi mutano al variare delle ipotesi di capacità dello scalo genovese e dei rapporti tra Liguria e Piemonte. In assenza di vincoli di capacità per il porto di Genova, si conferma la convenienza di non concentrare l'investimento. Volendo in ogni caso investire in un'unica area, anche qui risulta privilegiata Novara. Comunque, l'ottimo si ottiene ripartendo in quote esattamente uguali l'investimento complessivo.

Se invece il porto non incrementasse la sua capacità, l'investimento ottimale sarebbe maggiormente sbilanciato a favore di Novara rispetto alla versione base del modello. Infine, se le relazioni commerciali tra Genova e il Piemonte non dovessero rafforzarsi, si dovrebbe sbilanciare ulteriormente gli investimenti a favore di Novara, date le possibilità di business di questa area con altri porti europei.

## 4 Conclusioni

Il presente lavoro ha fornito alcune indicazioni fondamentali di *policy design* per la pianificazione degli investimenti in infrastrutture puntuali per la logistica in Piemonte, con particolare riferimento alle aree di Novara ed Alessandria, allo scopo di realizzare un retroporto per lo scalo genovese.

L'analisi ha rivelato come non sia conveniente concentrare gli investimenti a beneficio di una sola delle due aree, ma i risultati migliori per il sistema si ottengono ripartendo gli investimenti in misura quasi paritaria tra Novara ed Alessandria. Gli scenari analizzati evidenziano nella situazione ottimale un leggero sbilanciamento degli investimenti a favore di Novara, il quale diventa tanto maggiore quanto minore è il traffico proveniente da Genova. Un ridotto traffico da Genova potrebbe essere determinato da fattori di criticità intrinseci al porto, quali ad esempio capacità delle infrastrutture o inefficienze operative legate alle procedure di sdoganamento, debolezza delle relazioni tra Genova e il Piemonte o scarsa competitività dell'offerta piemontese.

Lo studio ha inoltre messo in luce come per massimizzare le performance del sistema occorra anticipare il più possibile gli investimenti. Se è inevitabile ritardarli, allora è preferibile penalizzare Alessandria, in quanto un ritardo nell'investimento a Novara ha un impatto in termini di peggioramento del comportamento del sistema nettamente superiore. Ciò è spiegato dal fatto che Alessandria è prevalentemente legata al porto di Genova, mentre la crescita di Novara è influenzata anche dalla vicinanza con Milano e dai rapporti con i porti dell'Europa centro – settentrionale.

Il risultato più importante di questo lavoro è però quello di offrire un supporto alle decisioni di intervento basato su un metodo scientifico: i *System Dynamics*. Anche se il modello fornisce prevalentemente risultati qualitativi circa il comportamento delle variabili di interesse, i valori numerici ottenuti possono rappresentare un'utile base di ragionamento poiché la validazione è stata condotta su dati storici dei volumi stoccati nelle aree studiate.

I prossimi step saranno inserire nel modello elementi relativi alle infrastrutture di rete, ottimizzando così l'operatività del sistema nel suo complesso, e utilizzare metodi di localizzazione o multicriteri per individuare dove convenga realizzare l'investimento all'interno delle due zone oggetto di analisi.

## 5 Bibliografia

Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica (2005). *Piano per la Logistica - Un programma di settore per la competitività del sistema Paese*, <http://www.governo.it/GovernoInforma/Dossier/>

Confetra Confederazione Generale Italiana dei Trasporti e della Logistica, Centro Studi (2006). *Analisi strutturale delle imprese nei settori dei servizi logistici e di trasporto - 2003*, [http://www.confetra.it/it/centrostudi/index\\_centrostudi.htm](http://www.confetra.it/it/centrostudi/index_centrostudi.htm)

Coyle, G. (2000). *Qualitative and quantitative modelling in system dynamics: some research questions*. *System Dynamics Review* 16, 225–244

Coyle, R. (1985). *The use of optimization methods for policy design in a system dynamics model*, *System Dynamics Review* 1(1), 81–91

Forrester, J. W. (1965). *Industrial Dynamics*, The M.I.T. Press, Cambridge MA

Lyneis, J.M. (1999). *System dynamics for business strategy: a phased approach*. *System Dynamic Review* 15, 37-70

Sterman J. D. (2000). *Business Dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world*, McGrawHill, New York